

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 04-101148

(43)Date of publication of application : 02.04.1992

(51)Int.Cl.

G03F 7/20  
H01L 21/027

(21)Application number : 02-218030

(71)Applicant : NIKON CORP

(22)Date of filing : 21.08.1990

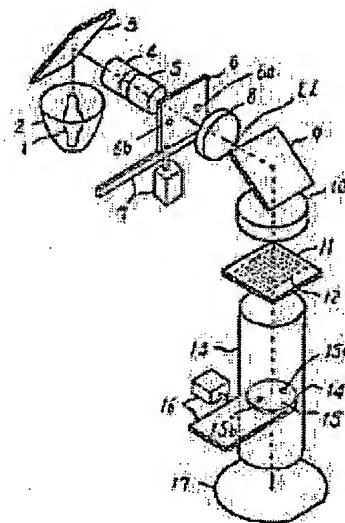
(72)Inventor : SHIRAISHI NAOMASA

## (54) PROJECTION TYPE EXPOSING DEVICE

## (57)Abstract:

**PURPOSE:** To completely expose and transfer even a fine mask pattern by providing a light shielding plate which is decided based on the Fourier transform pattern of the fine pattern at least at one spot out of the pupil surface of an illumination optical system, the conjugate surface of the pupil surface and the pupil surface of a projection optical system.

**CONSTITUTION:** The light shielding plate 6 in which a pair of light transmitting parts 6a and 6b is arranged and whose position and whose size are decided based on the two-dimensional Fourier transform of a mask pattern 12 is arranged near the pupil surface of the illumination optical system (emitting end face of an integrator element 5). Then, the light shielding plate 15 provided with the light transmitting parts 15a and 15b in the same manner is arranged on the pupil surface 14 of the projection optical system 13 for projecting the pattern 12 to a wafer 17. Collimated beam of light made incident on the pattern 12 of a mask 11 forms the respective diffracted light beams of 0th, 1st and 2nd... order and only the 0th and the 1st order diffracted light beams are selectively allowed to pass to the wafer 17 side, then other diffracted light beams are intercepted. Thus, a light quantity difference with lightness and darkness which is enough to sensitize a resist layer and the depth of focus which is very deep are secured.



# Bibliographic data: JP 4101148 (A)

## PROJECTION TYPE EXPOSING DEVICE

Publication date: 1992-04-02



SHIRAIISHI NAOMASA ±  
NIPPON KOGAKU KK ±

**Espacenet**

Classification:

- European:

G03F7/20; G03F9/00; H01L21/027; H01L21/30; (IPC1-7): G03F7/20; H01L21/027

G03F7/20A4; G03F7/20T12; G03F7/20T14; G03F7/20T16; G03F9/00T22

Application number: JP19900218030 19900821

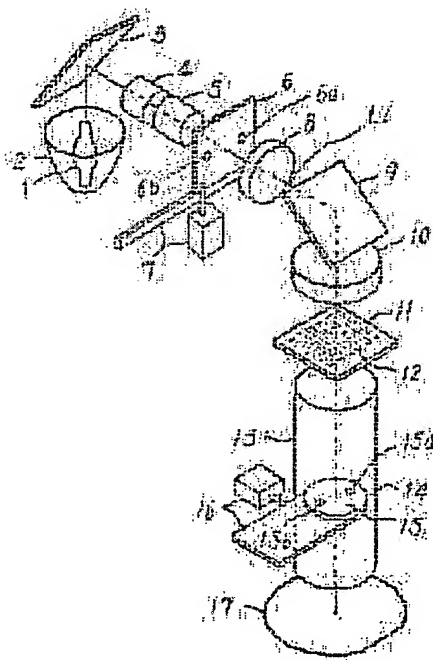
Priority number (s): JP19900218030 19900821

Also published as:

- [JP 2995820 \(B2\)](#)
- [EP 1128219 \(A2\)](#)
- [EP 1128219 \(A3\)](#)
- [WO 9203842 \(A1\)](#)
- [HK 1017823 \(A1\)](#)
- [more](#)

## Abstract of JP 4101148 (A)

**PURPOSE:**To completely expose and transfer even a fine mask pattern by providing a light shielding plate which is decided based on the Fourier transform pattern of the fine pattern at least at one spot out of the pupil surface of an illumination optical system, the conjugate surface of the pupil surface and the pupil surface of a projection optical system. **CONSTITUTION:**The light shielding plate 6 in which a pair of light transmitting parts 6a and 6b is arranged and whose position and whose size are decided based on the two-dimensional Fourier transform of a mask pattern 12 is arranged near the pupil surface of the illumination optical system (emitting end face of an integrator element 5).; Then, the light shielding plate 15 provided with the light transmitting parts 15a and 15b in the same manner is arranged on the pupil surface 14 of the projection optical system 13 for projecting the pattern 12 to a wafer 17. Collimated beam of light made incident on the pattern 12 of a mask 11 forms the respective diffracted light beams of 0th, 1st and 2nd... order and only the 0th and the 1st order diffracted light beams are selectively allowed to pass to the wafer 17 side, then other diffracted light beams are intercepted. Thus, a light quantity difference with lightness and darkness which is enough to sensitize a resist layer and the depth of focus which is very deep are secured.



Last updated: 04.04.2011 Worldwide Database 5.7.20; 92p

⑩ 日本国特許庁(JP)

⑪ 特許出願公開

⑫ 公開特許公報(A) 平4-101148

⑬ Int.Cl.<sup>5</sup>

識別記号

庁内整理番号

⑭ 公開 平成4年(1992)4月2日

G 03 F 7/20

7818-2H

H 01 L 21/027

7352-4M H 01 L 21/30

3 1 1 L

審査請求 未請求 請求項の数 4 (全11頁)

⑮ 発明の名称 投影型露光装置

⑯ 特 願 平2-218030

⑰ 出 願 平2(1990)8月21日

⑱ 発 明 者 白石 直正 東京都品川区西大井1丁目6番3号 株式会社ニコン大井製作所内

⑲ 出 願 人 株式会社ニコン 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

⑳ 代 理 人 弁理士 佐藤 正年

明 細 書

1. 発明の名称

投影型露光装置

2. 特許請求の範囲

(1) 微細パターンが形成されたマスクを照明するための照明光学系と、該微細パターンを試料基板上に投影するための投影光学系とを有する投影型露光装置において、

前記微細パターンのフーリエ変換パターンに基づいて定めた透光部を有する遮光板を、前記照明光学系のほぼ瞳面、該瞳面のほぼ共役面、前記投影光学系のほぼ瞳面のうち、少なくとも1個所に設けたことを特徴とする投影型露光装置。

(2) 前記遮光板は、前記微細パターンの方向に応じた角度位置と、前記微細パターンの微細度および露光の波長に応じた間隔とを持たせた一对の透光部、を1組以上有することを特徴とする請求項第1項の投影型露光装置。

(3) 前記遮光板の透光部の位置および間隔の少なくとも一方を変化させる調整機構を備えたこと

を特徴とする請求項第2項、第3項いずれかの投影型露光装置。

(4) 前記調整機構は、前記遮光板の任意の位置を透明、不透明に自由に調整できる電気光学素子からなることを特徴とする請求項第4項の投影型露光装置。

3. 発明の詳細な説明

〔産業上の利用分野〕

本発明は、半導体メモリ素子や液晶素子の製造に用いられる投影型露光装置に関し、詳しくはマスクに形成された微細パターンの規則性を利用して、該微細パターンで発生する回折光を積極的に活用することにより、試料基板上に形成される転写パターンの解像度(レジスト像の微細度)を向上させる技術に関する。

〔従来の技術〕

半導体メモリや液晶素子の回路パターンの形成には、一般的に、フォトリソグラフ技術と呼ばれる、マスクパターンを試料基板上に転写する方法

が採用される。ここでは、感光レジスト層が形成された試料基板上に、紫外線等の露光光を、マスクパターンを形成したマスクを介して照射することにより、試料基板上にはマスクパターンが写真的に転写される。

近年、半導体メモリや液晶素子の回路構成の微細化に伴って、マスクパターンを縮小して試料基板上に投影転写できる、ステッパー等の投影型露光装置が多用され、露光光としても、より短い波長を有する波長分布幅の狭い特殊な紫外線が使用されるようになった。ここで、波長分布幅を狭くする理由は、投影型露光装置の投影光学系の色収差による投影像のぼけを除くためであり、より短い波長を選択する理由は、投影像のコントラストを向上させるためである。しかし、この露光光の短波長化も、要求されるマスクパターンの一層の微細化に対しては、適当な光源が無く、レンズ材料やレジスト材料の制約から限界を迎えているのが現状である。

このような微細化されたマスクパターンにおい

影光学系に絞りを設けて露光光のマスクに対する入射角度を制約するとともに、マスクパターンに応じて該絞りの開口量を調整して、試料基板上の投影像の明暗の光量差を維持しつつ焦点深度を確保する発明を提案した。しかし、この発明においても、ほぼ垂直に試料基板に達する0次回折光に対して、 $\pm 1$ 次、 $\pm 2$ 次、…の回折光の回折角度が大きいと、レンズからはみ出して試料基板まで達しなくなり、結果的に試料基板上のマスクパターン投影像は、0次光成分のみが強調されたコントラストの悪い平坦なものとなった。

また、レンズに納まって試料基板に達する部分の $\pm 1$ 次回折光は、0次光がほぼ垂直に入射することに対して、浅い角度で試料基板に入射することになるため、やはり十分な焦点深度が確保できないことが指摘された。

ところで、このような微細なマスクパターンの一般的なものは、縦または横に等間隔で配列された格子パターンと見なすことができる。言い換えれば、マスクパターンにおける最もパターンが密

では、パターンの解像線幅が露光光の波長に接近するため、パターン透過時に発生する回折光の影響が無視できず、試料基板上のマスクパターン投影像における十分な明暗の光量差の確保が困難となり、明暗境界のコントラストも低下する。

[発明が解決しようとする課題]

すなわち、マスクに対して上方から種々の入射角度で入射する露光光がマスクパターン上の各点において発生する0次、 $\pm 1$ 次、 $\pm 2$ 次、…の各回折光は、投影光学系を経て、この各点と共役な試料基板上のそれぞれの点に再集合して結像するが、より微細なマスクパターンに対して $\pm 1$ 次、 $\pm 2$ 次、…の回折光は、回折角度がさらに大きくなるため、試料基板上により浅い角度で入射するようになり、投影像の焦点深度を著しく低下させて、レジスト層の厚み全部を露光できなくなるという問題を発生させた。

このような観点から、本願出願人は、先に、特開平2-50417号において、照明光学系と投

集した場所には、試料基板上に形成可能な最小の線幅を実現する、等間隔の透明、不透明ラインを交互に配置した格子パターンが採用されるが、その他の場所では比較的ゆるい微細度のパターンであり、斜めのパターンは例外的である。

また、一般的なレジスト層材料の性質は、非線形の感光特性を有し、あるレベル以上の受光量を与えると急速に化学変化が進むが、それ以下の受光量では、ほとんど化学変化が進行しない。従って、試料基板上におけるマスクパターンの投影像については、明部と暗部の光量差が確保されていさえすれば、明部と暗部の境界のコントラストは多少低くても、マスクパターンどおりの所要のレジスト像が得られる。

本発明は、このように、露光光が狭い波長分布を持ち、マスクパターンが実質的に回折格子とみなせ、レジスト材料が受光量のコンパレータ的性質を有することを積極的に利用して、露光光の波長を維持したまま、さらに微細なレジスト像を形成可能とするもので、従来、試料基板上で十分

な光量差が得られなかった微細なマスクパターンでも、十分に露光転写できる投影型露光装置を提供することを目的としている。

#### 〔発明を解決するための手段〕

本発明の請求項第1項の投影型露光装置は、微細パターンが形成されたマスクを照明するための照明光学系と、該微細パターンを試料基板上に投影するための投影光学系とを有する投影型露光装置において、

前記微細パターンのフーリエ変換パターンに基づいて定めた透光部を有する遮光板を、前記照明光学系のほぼ瞳面、該瞳面のほぼ共役面、前記投影光学系のほぼ瞳面のうち、少なくとも1個所に設けたものである。

本発明の請求項第2項の投影型露光装置は、請求項第1項の投影型露光装置において、前記遮光板が、前記微細パターンの方向に応じた角度位置と、前記微細パターンの微細度および露光光の波長に応じた間隔とを持たせた一対の透光部、を1

おり、この露光光がマスクパターンで発生した0次回折光と1次回折光とを試料基板上に優先的に到達させ、干渉させ、結像させる。すなわち、マスクパターンの微細度に応じた遮光板を用いて、最適な0次回折光と1次回折光とを選択することにより、従来よりも明暗の光量差および焦点深度が大きい結像パターンを得ることができる。

ここで、マスクに入射する露光光を選択するには、照明光学系の瞳面およびその近傍、またはその共役面に、「マスクパターンに対して特定の方向と角度で入射する露光光は透過するが、他の不要な露光光は遮断するように透光部を配置した遮光板」を設ければよい。しかし、投影光学系の瞳面およびその近傍に、「この特定の方向と角度の露光光がマスクパターンで発生する0次回折光と1次回折光とは無事透過するが、他の不要な露光光による回折光は遮断されるように透光部を配置した遮光板」を設けても、試料基板上に達して結像に関与する回折光はほぼ等しいものとなり、同様な効果を期待できる。また、投影光学系の瞳面

組以上有するものである。

本発明の請求項第3項の投影型露光装置は、請求項第2項の投影型露光装置において、前記遮光板の透光部の位置および間隔の少なくとも一方を変化させる調整機構を備えたものである。

本発明の請求項第4項の投影型露光装置は、請求項第3項の投影型露光装置において、前記調整機構が、前記遮光板の任意の位置を透明、不透明に自由に調整できる電気光学素子からなるものである。

#### 〔作用〕

従来の投影型露光装置では、マスクに対して上方から種々の入射角で入射する露光光が無差別に用いられ、マスクパターンで発生した0次、±1次、±2次、…の各回折光がほぼ無制限に投影光学系を透過して試料基板上に結像していた。これに対して、本発明の請求項第1項の投影型露光装置では、マスクパターンに対して特定の方向と角度で斜めに入射する露光光が選択的に用いられて

およびその近傍に設けた遮光板は、照明光学系の瞳面およびその近傍、またはその共役面に配置された遮光板により選択された露光光がマスクパターンで発生する0次回折光と1次回折光以外の回折光を取り除く作用も兼ね備える。

照明光学系の瞳面およびその近傍、またはその共役面に遮光板を配置した場合、所定の波長を有する露光光が、特定の入射方向と入射角で回折格子状のマスクパターンに入射し、投影光学系の瞳面には、フーリエ展開された0次、1次、2次、3次、…の各回折光によるスポット列が形成される。ただし、通常、2次、3次、…の高次回折光のスポットは投影光学系の外側にはみだす(ケラレる)。

照明光学系の瞳面およびその近傍、またはその共役面に配置した遮光板は、また、マスクに対してほぼ垂直に入射する露光光を遮断し、特定の入射方向と入射角の露光光だけをマスクに選択入射させる。ここで、高次の回折光が邪魔な場合にはさらに、投影光学系の瞳面およびその近傍に透光

板を設けてこれを遮断する。これにより、試料基板上には、好ましい入射角の露光光がマスクパターンで発生する0次回折光と1次回折光とを重点的に用いた投影パターン像が形成される。

ここで、マスクパターンにおける高解像度を必要とする部分、すなわち等間隔の透明、不透明ラインを交互に配置した格子パターンは、デューティ0.5の矩形波状のものとみなせ、照明光学系瞳面およびその近傍、またはその共役面に遮光板を設けた場合、この格子パターンで発生する回折光は、投影光学系の瞳面において、格子を横断する方向に分布する0次、±1次、±2次、…の各次数回折光のスポットを形成する。このとき、矩形波のフーリエ展開として知られるように、0次回折光は試料基板上の投影像におけるバイアス成分、±1次回折光は格子と同周期の正弦波成分であり、この2つの成分の干渉によって、試料基板上には、レジスト層の感光に必要十分な明暗の光量差を持った結像パターンが得られる。

また、一般的なマスクパターンは、マスク上に

次に、マスクパターンに対して特定の入射方向と入射角の露光光を入射して、0次回折光と1次回折光とを用いて試料基板上に結像パターンを形成することにより、焦点深度が大きくなる理由を説明する。

試料基板が投影光学系の焦点位置に一致している場合には、マスク上の1点を出て試料基板上の1点に達する各回折光は、投影光学系のどの部分を通るものであってもすべて等しい光路長を有するから、従来のように0次回折光が投影光学系の瞳面のほぼ中心を貫通する場合でも、0次回折光とその他の回折光とで光路長は相等しく、相互の波面収差も0である。しかし、試料基板が投影光学系の焦点位置に一致していない場合、斜めに入射する高次の回折光の光路長は、最短距離を通る0次回折光に対して、焦点前方では短く、焦点後方では長くなり、その差は入射角の差に応じたものとなる。従って、0次、1次、…の各回折光は相互に波面収差を形成して、焦点位置の前後における結像パターンのぼけを発生する。この波面収

配置された縦方向または横方向の格子を複数個組合せたものとみなせるから、各格子に対して最適な入射方向と入射角の露光光がそれぞれ確保されるようにすれば、投影光学系の瞳面に形成されるフーリエパターンは、各格子の方向に応じた角度方向に並んだ、露光光の波長と格子のピッチとに応じた相互間隔のスポット群を形成し、各スポットの強度は、格子のピッチ数と回折光の次数に依存している。従って、必要なスポット位置に透光部を設けた遮光板を投影光学系に設けて同様な回折光の選択を行ってもよい。投影光学系の瞳面に遮光板を設けた場合には、有用な回折光のスポット位置に透光部を設けた遮光板が採用されて、有用な回折光を選択的に透過させ、邪魔になる回折光を遮断する。

このように、遮光板上の透光部の個数と配置はマスクパターンに応じたそれぞれ異なる固有なものであるから、遮光板は、当然、マスクと一緒に交換され、かつマスクに対して厳密に位置調整されるべきものである。

差 $\Delta W$ は、次式、

$$\Delta W = 1/2 \times (NA)^2 \Delta f$$

$\Delta f$ : デフォーカス量

$NA$ : 瞳面上の中心からの距離を開口数で表わした値

で表わされ、従って、瞳面のほぼ中心を貫通する0次回折光( $\Delta W = 0$ )に対して、瞳面の周囲、半径 $r_1$ を通る1次回折光では、

$$\Delta W = 1/2 \times r_1^2 \Delta f$$

の波面収差を持つこととなり、焦点位置の前後での解像度、すなわち焦点深度を低くしている。

一方、照明光学系の瞳面もしくはその近傍、またはその共役面に遮光板を設けて、マスクパターンからの0次回折光と1次回折光とが瞳面上でほぼ中心対称な位置(共に半径 $r_2$ とする)を通るようにした本発明の投影型露光装置の場合、焦点の前後における0次回折光と1次回折光の波面収差は相等しく、

$$\Delta W = 1/2 \times r_2^2 \Delta f$$

となり、デフォーカスに伴う波面収差によるぼけ

が無い。すなわち、この分だけ焦点深度が大きくなっている。

また、遮光板の透光部を通った一対の露光光はマスクパターンの格子に対して、斜めかつ対称に入射する平行光となるが、 $\pm 1$ 次回折光のどちらか一方は投影光学系の光軸について0次光と対称な経路を通り、試料基板に0次光と同程度の深い角度で入射する。これにより、結像に関与する投影光学系の実質的な開口数が小さくなり、より深い焦点深度が得られる。

本発明の請求項第2項の投影型露光装置においては、照明光学系に配置した遮光板を用いてマスクパターンの格子に対して2方向から対称な入射角の露光光を入射させる。ここで、入射角は、遮光板の透光部の相互間隔により調整され、マスク透過後、一方の露光光の0次光は、他方の露光光の1次光とほぼ同一の方向に進み、投影光学系の瞳面では、ほぼ同一位置にスポットを形成するようにしている。

このような回折光の選択は、マスクに対して上

本発明の請求項第3項の投影型露光装置においては、調整機構を用いて、遮光板を回転または平行移動させれば、格子に対する遮光板の位置ずれを補正できる。また、透光部の相互間隔を適正に調整して、格子のピッチにより良く適合させることができる。

本発明の請求項第4項の投影型露光装置においては、液晶素子等の電気光学素子を組込んだ遮光板が採用され、電気信号により透光部の位置調整を行うことができる。

#### 【発明の実施例】

本発明の実施例を図面を参照して説明する。

第1図は、本発明の実施例の投影型露光装置の斜視図である。

第1図において、マスク11には、代表的な微細パターン例として、本実施例では、デューティ0.5の1次元の格子状パターン12が形成されており、マスク11を照明する照明光学系は、水銀ランプ1、楕円面鏡2、コールドミラー3、集

方から種々の入射角で入射する露光光を用い、上記スポット位置に透光部を形成した遮光板を投影光学系の瞳面に配置して、上記一対の入射角以外の露光光による回折光を遮断した場合にも同様に実行される。

また、格子を複数組合せた一般的なマスクパターンに対しては、それぞれの格子に対して定めた角度位置と相互間隔とを持たせた一対ずつの透光部が遮光板に配置される。

照明光学系に備えられる遮光板における一対の透光部は、一方の透光部からの露光光が1つの格子で発生する一次回折光と、他方の透光部からの露光光が同じ格子で発生する0次回折光とが投影光学系の瞳面のほぼ同一位置を通過するように相互間隔を定めたものである。

投影光学系に備えられる遮光板における一対の透光部は、1つの格子に対して上述の入射角を有する一対の露光光が発生する0次回折光と一次回折光とを透過させるように相互間隔を定めたものである。

光光学素子4、インテグレータ素子5、リレーレンズ8（瞳リレー系）、ミラー9、コンデンサレンズ10からなり、照明光学系の瞳面（フーリエ変換面であって、ここでは水銀ランプ1の2次光源像が形成されるインテグレータ素子5の射出端面）の近傍（もしくは照明光学系の瞳面とほぼ共役な位置でもよい）には、マスクパターン12の2次元フーリエ変換に基づいて位置、大きさが定められる一対の透光部6a、6bを配置した遮光板（空間フィルター）6が配置される。

また、パターン12をウェハ17上に投影する投影光学系13の瞳面14にも、同様に透光部15a、15bを備えた遮光板（空間フィルター）15が配置される。ここで、本実施例ではマスクパターン12として1次元の回折格子パターンを用いているので、遮光板6、15には、ともに一対の透光部6a、6bと15a、15bとが形成されており、それぞれ瞳面内で一対の透光部が光学系の光軸を挟んでほぼ対称に、かつその配列方向が格子パターン12のピッチ方向とほぼ一致す



るように配置されている。また、遮光板6、15には、それぞれソータ、カム等で構成される駆動機構7、16が設けられており、マスクパターンに応じて遮光板6、15が交換可能で、かつ瞳面内での透光部6a、6b、15a、15bの位置の微調整が可能となっている。なお、遮光板6、15の透光部6a、6bおよび15a、15bの形状は任意でよく、第1図ではともに円形開口として図示している。

このように構成された露光装置において、楕円面鏡2の第1焦点に配置された水銀ランプ1で発生した露光光は、楕円面鏡2、コールドミラー3で反射されて、楕円面鏡2の第2焦点に集光された後に、コリメータレンズや光束分布補正用のコーン状プリズム等からなる集光光学素子4を通過して、フライアイレンズ群からなるインテグレート素子5により、遮光板6の位置に実質的な面光源を形成する。なお、本実施例ではインテグレート素子5の2次光源像が投影光学系13の瞳面14に形成される、いわゆるケーラー照明となっている。

露光光の光路の模式図である。ここでは、図示の都合上、遮光板6がコンデンサレンズ10の直上に配置されるが、この位置はリレーレンズ8に対して第1図の遮光板6と共役な面であり、同等な機能と効果を維持させる。

第2図において、投影光学系13の開口数をNA、露光光の波長を $\lambda$ 、パターン12のピッチを $\lambda/NA$ の0.75倍、パターン12のライン・アンド・スペースの比を1:1(格子のデューティを0.5)とする。

このとき、パターン12の波長 $\lambda$ を考慮したフーリエ変換 $q(u, v)$ は、パターン12を、 $p(x, y)$ とすると、

$$q(u, v) = \iint p(x, y) \times \exp\{-2\pi i(ux+vy)\} / \lambda \, dx dy$$

で得られるが、パターン12が第4図に示されるように、上下すなわちy方向には一様で、x方向へのライン・アンド・スペースの比が1:1、ピッチが $0.75 \times \lambda / NA$ の場合には、

$$q(u, v) = q_1(u) \times q_2(v)$$

いる。この面光源は、従来同様、マスクに上方から種々の入射角で入射する露光光を与えるべきものであるが、遮光板6が設けられているため、遮光板6の2つの透光部6a、6bを射出する光束だけがリレーレンズ8、ミラー9、コンデンサレンズ10を介して、格子を垂直に横切る面内で対称にマスク11に入射する、所定入射角の2つの平行光となる。

マスク11のパターン12に入射した平行光は0次、1次、2次…の各回折光を形成し、これらの回折光は、投影光学系13に入射して、その瞳面に次数別のスポットを形成するが、瞳面14に配置した遮光板15の透光部により、0次回折光と1次回折光だけが選択的にウエハ17側に通され、その他の回折光は遮断される。

このとき、0次回折光と、1次回折光が最大限得られるように、駆動機構7、16を用いて、マスク11のパターン12に対する遮光板6、15の位置調整を行う。

第2図は、本実施例の投影型露光装置における

と表わせ、

$$q_1(u) = 1, u = 0$$

$$q_1(u) = 0.637, u = \pm NA / 0.75$$

$$q_1(u) = -0.212, u = \pm 3 \times NA / 0.75$$

...

...

$$q_1(u) = 0.637 / (2n-1) \times (-1)^{(n-1)},$$

$$u = \pm (2n-1) \times NA / 0.75$$

$$q_1(u) = 0, u \text{ は上記以外}$$

また、

$$q_2(v) = 1, v = 0$$

$$q_2(v) = 0, v \neq 0$$

と表わせる。

第3図と第5図は、それぞれ本実施例に供される照明光学系用の遮光板6と、投影光学系用の遮光板15の平面図である。

遮光板6、15は、上記フーリエ変換のエネルギー分布、すなわち $|q(u, v)|^2$ のピーク値、 $(u, v) = (0, 0), (\pm NA / 0.75, 0), (\pm 3 NA / 0.75, 0), \dots$ の1/2である、

$(u, v) = (0, 0), (\pm NA/1.5, 0), (\pm 2 NA, 0), \dots$  のうち、投影光学系13の開口数以内である、

$$(u, v) = (\pm NA/1.5, 0)$$

およびその近傍を透光部18、15とし、

$$(u, v) = (0, 0)$$

を遮光部としたものである。ここで、遮光板6、15において、

$$(u, v) = (0, 0)$$

は、それぞれ照明光学系、および投影光学系13の光軸と一致するように、第1図の機構7、16により調整を行う。遮光板6、15は、金属板の一部を取り去ったものでも、またガラス等の透明保持体上に、金属薄膜等をパターンニングしたものでもよい。第1図の構成として水銀ランプ1を想定したが、レーザ光源等の別の光源であってもよい。また、マスク11のパターン12はデューティ1:1のライン・アンド・スペース・パターンとしたが、任意のパターンについて本発明は適用可能である。

第6図は、投影光学系13の瞳面14での回折光の強度分布を表わす線図である。

第6図において、瞳面14に形成されたスポット221は回折光 $L_{r0}$ 、 $L_{l1}$ が、また、スポット222は回折光 $L_{l0}$ 、 $L_{r1}$ がそれぞれ集束したものである。

第6図より明らかなように、本実施例の投影型露光装置においては、ピッチが $\lambda/NA$ より微細な $0.75 \times \lambda/NA$ のパターン12の0次回折光と+1次または-1次回折光を投影光学系13を介してほぼ100%ウェハ17上へ集光させることができ、従って、従来の投影型露光装置の解像度の限界であったピッチ( $\lambda/NA$ )よりもさらに細いパターンの場合も、ピッチに応じた遮光板を用いて、露光転写が可能である。

次に、本実施例の投影型露光装置における試料基板上的パターン解像度を比較するための種々の参考例の投影型露光装置を説明する。

[参考例]

第7図、第8図は、参考例として掲げる特開平

第2図において、ピッチ $0.75 \times \lambda/NA$ であるパターン12に対して、照明光学系中のパターン12のフーリエ変換面に遮光板6を設けることにより、パターン12を照明する照明光 $L_i$ は $L_{il}$ 、 $L_{ir}$ のごとく制限される。この照明光 $L_{il}$ 、 $L_{ir}$ がパターン12に照射されるとパターン12により回折光が発生する。

照明光 $L_{il}$ の0次回折光を $L_{i0}$ 、+1次回折光を $L_{l1}$ とし、照明光 $L_{ir}$ の0次回折光を $L_{r0}$ 、-1次回折光を $L_{r1}$ とすると、回折光 $L_{l0}$ と回折光 $L_{l1}$ 、回折光 $L_{r0}$ と回折光 $L_{r1}$ の離角はともに、

$$\begin{aligned} \sin \theta &= \lambda / (\text{パターン12のピッチ}) \\ &= \lambda / (0.75 \times \lambda / NA) \\ &= NA / 0.75 \end{aligned}$$

となるが、もともと、入射光 $L_{il}$ と入射光 $L_{ir}$ は $2 \times NA/1.5$ だけ離れているので、回折光 $L_{l0}$ と回折光 $L_{r1}$ 、また、回折光 $L_{r0}$ と回折光 $L_{l1}$ は、それぞれ同じ光路を通ることになる。

2-50417号の投影型露光装置における露光光の光路を説明するためのもので、それぞれ光路の模式図と、投影光学系の瞳面における光量分布の線図である。なお、本実施例(第2図)による装置と同じ作用、機能の部材には同一の符号を付してある。

第7図において、照明光学系の瞳面には開口絞り(円形の透光部を備えた遮光板、いわゆる空間フィルター)6Aが設けられ、マスク11に対する露光光の入射角を制限している。マスク11のパターン12で発生した、実線で示される0次回折光と、破線で示される±1次回折光とは投影光学系13に入射して別々の光路を進み、ここでは第8図に示すごとく瞳面14において+1次回折光のスポット20 $l$ と、0次回折光のスポット20 $c$ と、-1次回折光のスポット20 $r$ とが形成される。

第9図、第10図は、別の参考例として掲げる投影型露光装置における露光光の光路を説明するためのもので、それぞれ側面から見た光路の模式

図と、投影光学系の瞳面における光量分布の線図である。この参考例では、第7図の開口絞り6Aの替わりに円環状の透光部を設けた遮光板6Bが取付けられている。

第9図において、照明光学系の瞳面には円環状の透光部を形成した遮光板6Bが設けられ、マスク11に対して露光光が斜めに(逆円錐状に)入射される。これにより、少なくともパターン12の格子を垂直に横切る面内では、本実施例の場合と同様に、実線で示される0次回折光は破線で示される1次回折光並みに斜めに投影光学系に入射し、反対側から来た別の1次回折光と一部重なって進み、ウェハ17にまで遅して投影像を形成する。このとき、投影光学系13の瞳面14にはドーナツ状の0次回折光のスポット21cと、+1次回折光のスポット21dと、-1次回折光のスポット21rとが形成されるが、スポット21d、21rの大部分は投影光学系13の外側にはみ出している。

投影光学系の開口数との比、いわゆる $\sigma$ を0.9としている。これは、第12図よりも明部と暗部の光量差が有るが、やはり0次回折光成分が強調された平坦な分布である。

第14図は、第9図の場合の投影像の格子パターンの強度分布の線図である。ここで、遮光板6Bの円環状の透光部の内縁は $\sigma$ で0.7、外縁は $\sigma$ で0.9に相当している。これは、第12図よりも明部と暗部の光量差が有るが、やはり0次回折光成分が強調された平坦な分布である。

第11図～第14図に明らかなように、第7図や第9図の場合と比較して、本実施例では実質的な解像度が大幅に向上している。

ところで、第9図の場合において、投影光学系13の瞳面14に本実施例と同様な遮光板を配置すれば、第10図で網線で示される部分の0次および $\pm 1$ 次の回折光を選択透過させて、ウェハ17上における本実施例と同様な解像度を達成することも可能である。

従来においても、マスクパターンにおける回折

[本実施例の実施例(続き)]

第11図～第14図は、本実施例におけるウェハ17上の投影像の格子パターンの強度分布を第7図と第9図の場合と比較した線図である。この強度分布は、投影光学系のNAを0.5、露光光の波長 $\lambda$ を0.365 $\mu\text{m}$ 、パターンのピッチはウェハ17上換算で0.5 $\mu\text{m}$ (ほぼ0.685 $\times \lambda / \text{NA}$ )として計算により求めた。

第11図は、本実施例の投影像の格子パターンの強度分布の線図である。これは、明部と暗部の光量差を十分に確保した分布となっている。

第12図は、第7図の場合の投影像の格子パターンの強度分布の線図である。ここでは開口絞り6Aの孔は比較的小さく、照明光学系の開口数と投影光学系の開口数との比、いわゆる $\sigma$ 値を0.5としている。これは、明部と暗部の光量差がほとんど無い平坦な分布である。

第13図は、第7図の場合の投影像の格子パターンの強度分布の線図である。ここでは開口絞り6Aの孔は比較的大きく、照明光学系の開口数と

光を積極的に利用して投影光学系の解像度を向上する技術として、パターンの透過部の1つおきに露光光の位相を反転させる誘電体、いわゆる位相シフターを設ける技術が報告されている。しかしながら複雑な半導体回路パターン上に位相シフターを設けることは現実には難しく、位相シフター付フォトマスクの検査方法も未だに確立されていない。

本実施例における解像度向上の効果は、位相シフターに匹敵するものでありながら、従来のフォトマスクがそのまま使用でき、従来のフォトマスク検査技術もそのまま踏襲することができる。

また、位相シフターを採用すると、焦点深度が増大する効果も得られるが、本実施例においても第6図に示されるとおり、瞳面14でのスポット22d、22rは、瞳の中心より等距離の位置にあり、従って、デフォーカスによる波面収差の影響を受けにくく、従って、深い焦点深度が得られる。

本実施例では、回路パターンとしてライン・ア

ンド・スペースのみを取り上げたが、以上の効果はライン・アンド・スペース以外の一般的なパターンについても、それぞれ適正な遮光板を組合せることにより、十分に達成される。ここで、回路パターンが1次元のライン・アンド・スペースのときには遮光板上の透光部は2個であるが、他の任意のパターンの場合は、パターンの空間周波数に応じて $2n$ 個の透光部を持つことになる。例えば2次元の回折格子パターンでは、十字に配置した2個ずつ、計4個の透光部を遮光板に形成すればよい。

本実施例では、また、ここまで、説明を簡略化するため、遮光板の透光部は露光光を全く透過させないものとしてきたが、これを半透過性とする等して、従来同様の露光を行いながら、特定の微細パターンについてのみ、その投影像のコントラストを上昇させるようにしてもよい。

本実施例では、特に照明光学系中の遮光板を中心に説明を行ったが、投影光学系中の遮光板についても作用および効果は基本的に同様なものと考え

ターを採用してもよく、この場合には交換機構がコンパクトになるとともに、透光部の大きさ、形状、位置の調整等が簡単に、しかも高速に行うことが可能になるといった利点がある。

#### 〔発明の効果〕

本発明の請求項第1項の投影型露光装置においては、遮光板により、好ましい入射角の露光光がマスクの微細パターンで発生する回折光のうちの好ましい次数のものを選択的に試料基板上に到達させて結像させるから、従来解像不能とされた微細なパターンでも、露光光や投影光学系の変更なしに、試料基板上の結像パターンにおけるレジスト層の感光に十分な明暗の光量差と十分に深い焦点深度とを確保できる。

本発明の請求項第2項の投影型露光装置においては、マスクの微細パターンに応じた遮光板を選択して、その角度と中心位置とを適正に調整することにより、試料基板上の結像パターンにおけるより大きな明暗の光量差とより深い焦点深度とが

えることができる。つまり、照明光学系のほぼ瞳面もしくはその共役面と、投影光学系のほぼ瞳面との少なくとも一方に上記条件を満足する空間フィルターを配置すれば、本実施例と同様の効果を得ることができる。また、例えば、照明光学系の瞳面に第3図に示したような空間フィルターを設けるとともに、投影光学系の瞳面に円環状の透光部を備えた空間フィルターを配置してもかまわない。なお、この場合、後者の空間フィルターにおいては、マスクパターンからの0次回折光と+1次（または-1次）回折光とがともに透過するように、円環状の透光部を配置することが必要であることは言うまでもない。また、両方の空間フィルターを併用することにより、投影光学系またはウェハによる乱反射光をカットし、迷光を防止する効果もある。

また、本実施例では、空間フィルター（遮光板6、15）をマスクパターンに応じて機械的に交換することとしたが、例えば液晶表示素子やEC（エレクトロクロミック）素子等を用いたフィル

達成される。

本発明の請求項第3項の投影型露光装置においては、調整機構により、遮光板の透光部の位置または間隔を変化させて、マスクと遮光板の最適な位置関係を得ることが可能で、また、別のパターンを有するマスクに対しても同一の遮光板を併用できる。

本発明の請求項第4項の投影型露光装置においては、電気光学素子により、遮光板の任意の位置を透明、不透明に自由に調整できるから、マスクと遮光板の最適な位置関係を得ることが可能であり、別のパターンを有するマスクに対しても同一の遮光板を併用できる。

#### 4. 図面の簡単な説明

第1図は、実施例の投影型露光装置の構成を示す斜視図である。

第2図は、実施例の投影型露光装置の光路を示す模式図である。

第3図は、実施例の投影型露光装置の照明光学

系に配置される遮光板の平面図である。

第4図は、実施例の投影型露光装置のマスクのパターン平面図である。

第5図は、実施例の投影型露光装置の投影光学系に配置される遮光板の平面図である。

第6図は、実施例の投影型露光装置の投影光学系の瞳面における回折光の強度分布を示す線図である。

第7図は、参考例の投影型露光装置の光路を示す模式図である。

第8図は、参考例の投影型露光装置の投影光学系の瞳面における回折光の強度分布を示す線図である。

第9図は、別の参考例の投影型露光装置の光路を示す模式図である。

第10図は、別の参考例の投影型露光装置の投影光学系の瞳面における回折光の強度分布を示す線図である。

第11図は、本実施例における投影像の格子パターンの光量分布を示す線図である。

第12図は、参考例 ( $\sigma = 0.5$  とした) における投影像の格子パターンの光量分布を示す線図である。

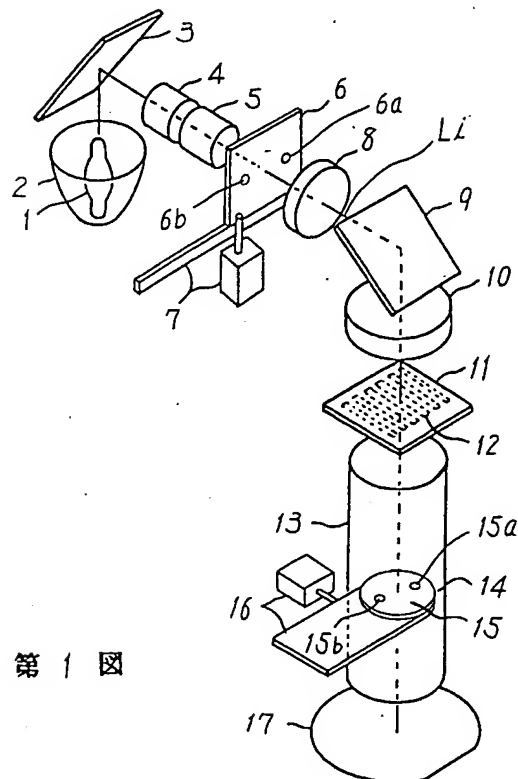
第13図は、参考例 ( $\sigma = 0.9$  とした) における投影像の格子パターンの光量分布を示す線図である。

第14図は、別の参考例における投影像の格子パターンの光量分布を示す線図である。

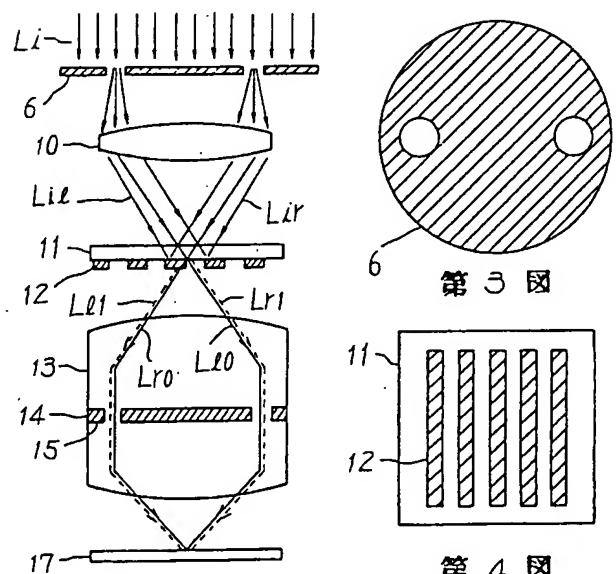
[主要部分の符号の説明]

- |                |            |
|----------------|------------|
| 1 … 水銀ランプ      | 2 … 楕円面鏡   |
| 3 … コールドミラー    | 4 … 集光光学素子 |
| 5 … インテグレート素子  |            |
| 6 … 遮光板        | 7 … 駆動機構   |
| 8 … リレーレンズ     | 9 … ミラー    |
| 10 … コンデンサーレンズ |            |
| 11 … マスク       | 12 … パターン  |
| 13 … 投影光学系     | 14 … 瞳面    |
| 15 … 遮光板       | 16 … 駆動機構  |
| 17 … ウェハ       |            |

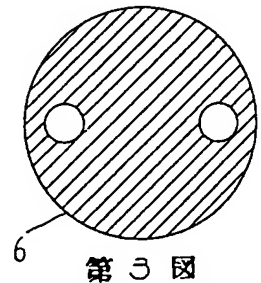
代理人 弁理士 佐藤 正年



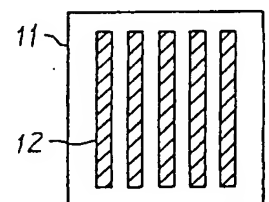
第1図



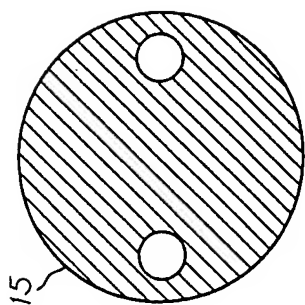
第2図



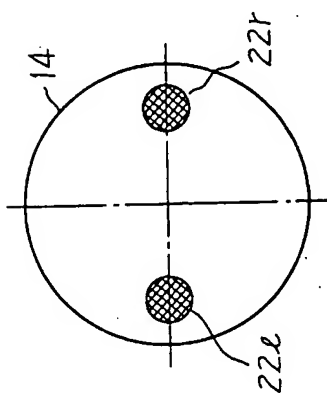
第3図



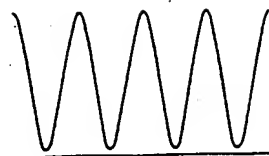
第4図



第 5 図



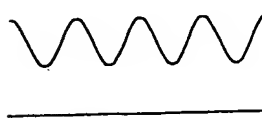
第 6 図



第 11 図



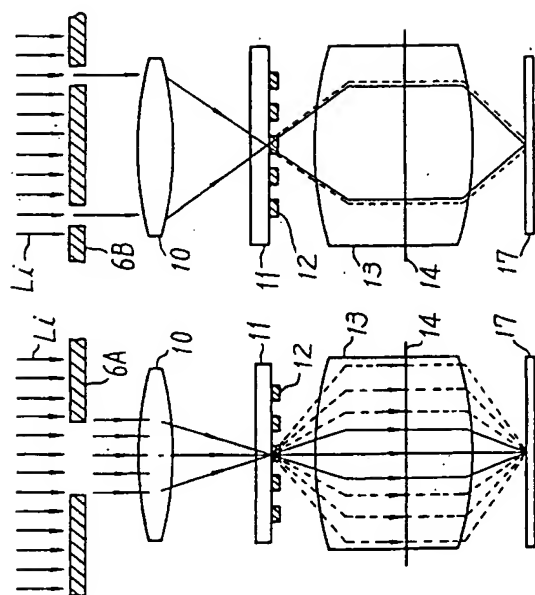
第 12 図



第 13 図

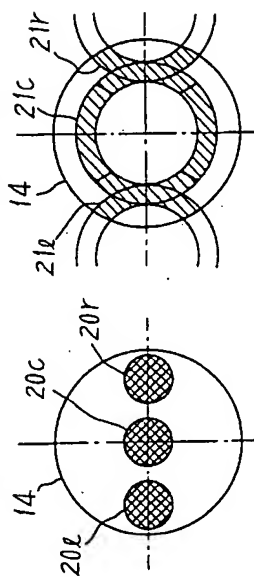


第 14 図



第 7 図

第 9 図



第 8 図

第 10 図